



Pauli Poikkimäki

Liitosten viivamaiset lisäkonduktanssit

Liitosten viivamaiset lisäkonduktanssit

Pauli Poikkimäki
Opinnäytetyö
Kevät 2016
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma, Rakennetekniikka

Tekijä(t): Pauli Poikkimäki
Opinnäytetyön nimi: Liitosten viivamaiset lisäkonduktanssit
Työn ohjaaja(t): Kimmo Illikainen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2016 Sivumäärä: 51

Ympäristöministeriö on julkaissut luonnoksen Suomen rakennusmääräyskokoelman osasta C4. C4 velvoittaa laskemaan liitosten viivamaiset lisäkonduktanssit, koska niiden aiheuttama lämpövirran osuus rakennuksen kokonaislämpövuotojen suhteen kasvaa, kun rakenteet kehittyvät.

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Sievitalo Oy:n käyttämiä liitoksia ja niistä aiheutuvia kylmäsiltoja sekä vertaillaliitosten viivamaisia lisäkonduktansseja ohjearvoihin. Työn tavoitteena oli myös tuottaa liitoksista kuvat ja laskelmat, joiden avulla liitoksia voidaan myöhemmin kehittää.

Työssä laskettiin Sievitalo Oy:n käyttämien nurkka-, ylä-, ala-, väli- ja ikkunaliitosten viivamaiset lisäkonduktanssit ympäristöministeriön ohjeen mukaisesti. Laskennassa huomioitiin mahdollisimman tarkasti rakennustarvikkeiden lämmönjohtavuudet, joiden avulla saatiin laskettua tarkasti liitosten viivamaiset lisäkonduktanssit. Laskenta tehtiin numeerisella menetelmällä. Liitosten rakennusosien lämmönläpäisykertoimet laskettiin Suomen rakennusmääräyskokoelman osan C4 luonnoksen 2012 mukaan. Laskennassa käytettiin Comsol Multiphysics 5.2 -ohjelmaa, jolla määritettiin liitosten lämpötekniset kytkentäkertoimet.

Ohjelmalla luotiin lisäksi liitoksista kuvat, joissa näkyvät lämpötilajakauman liitoksessa ja lämpövirran määrän eri rakennusaineissa. Lämpötilajakaumakuvasta voitiin päätellä, mihin kohtaan rakennetta muodostuu kastepiste. Lämpövirtakuvista selviää, missä liitoksen osassa on suurin lämpövirta.

Opinnäytetyössä kävi ilmi, että liitosten viivamaiset lisäkonduktanssit olivat yhtä lukuun ottamatta pienempiä kuin ohjearvoissa. Välipohjaliitoksessa viivamainen lisäkonduktanssi oli hieman ohjearvoa isompi, mutta lämpötilat rakenteen sisällä olivat kastepisteen kannalta turvalliset. Alapohjan viivamainen lisäkonduktanssi oli noin 50 % pienempi kuin ohjearvo. Lämpövirta- ja lämpötilajakaumakuvista saatiin hyödyllistä tietoa liitosten lämpökäyttäytymisestä.

Asiasanat: viivamainen, lisäkonduktanssi, kylmäsilta, lämpövirta

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Civil Engineering, Structural Engineering

Author(s): Pauli Poikkimäki

Title of thesis: Additional Line-shaped Conductance of Joints

Supervisor(s): Kimmo Illikainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2016 Pages: 51

The subject of this thesis is the additional line-shaped conductance of joints. The task was to examine joints, and it was decided to examine the thermal bridges caused by the joints. The aim was to determine the thermal currents caused by the joints. The target was also to produce images and calculations of the joints, which allow joints to be developed later.

The work was done by calculating the additional line-shaped conductance of joints in accordance with guidelines of the Ministry of the Environment. When making the calculation as precisely as possible, the thermal conductivities of building supplies were taken into consideration. By using them, additional line-shaped conductance could be calculated precisely. The calculation was made by using a numerical method. The thermal transmittance coefficients of the joints of the building elements were calculated by Building Code of Finland, the 2012 draft, C4. Comsol Multiphysics 5.2 software was used in the calculation. The thermal coupling coefficients of the joints were determined by the software. Also, by using the software, images were created, which show the connection of the temperature and the amount of heat flux in the various construction materials. These images were made to be developed in the future. From the image of the temperature distribution, it was possible to deduce where the dew point forms in the structure. Heat flux images show in which part of the joint the largest heat flux is.

Additional line-shaped conductance of the joints, except one, were smaller than the indicative value. In the intermediate floor joint line-shaped additional conductance was a little bigger than the indicative value but the temperatures inside the structure were safe for the dew point. Additional line-shaped conductance of the base floor was about 50 % lower than the indicative value. From the images of the heat flux and temperature, distribution a lot of useful information about the thermal behavior of the joints was found.

Keywords: line-shaped, conductance, joints

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	1
ABSTRACT	2
1 JOHDANTO	5
2 LÄMMÖN SIIRTYMINEN JA KYLMÄSILLAT	6
3 VIIMAISET LISÄKONDUKTANSSIT	7
4 LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMET	10
4.1 Pintavastusten määrittäminen	12
4.2 Maanvastaisen alapohjarakenteen U-arvo	13
5 VIIVAMASTEN LISÄKONDUKTANSSIEN MÄÄRITYS	15
5.1 Mallintamisen kulku	15
5.2 Ulkoseinäliitoksen lisäkonduktanssi	17
5.3 Yläpohjaliitoksen lisäkonduktanssi	17
5.4 Välipohjaliitoksen lisäkonduktanssi	17
5.5 Alapohjaliitoksen lisäkonduktanssi	17
5.5.1 Lämmönläpäisykertoimen määrittäminen alapohjalle	17
5.5.2 Alapohjan viivamaisen lisäkonduktanssin määrittäminen	17
5.6 Ikkunaliitoksen lisäkonduktanssi	17
5.7 Viivamaisten lisäkonduktanssien taulukkoarvot	17
6 LIITOSTEN LÄMPÖTILAEROT JA LÄMPÖVIRRAT	19
6.1 Ulkoseinäliitoksen lämpötilat ja -virta	19
6.2 Yläpohjaliitoksen lämpötilat ja -virta	19
6.3 Välipohjaliitoksen lämpötilat ja -virta	19
6.4 Alapohjaliitoksen lämpötilat ja -virta	19
6.5 Ikkunaliitoksen lämpötilat ja -virta	19
7 YHTEENVETO	20

SANASTO

- Adiabaattireunaehto rajapinnan ulkopuolella oleva täydellinen lämmöneristys (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 7)
- Lämmönläpäisykerroin lämpövirrantiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla on yksikön suuruinen (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 6)
- Lämpötekkinen kytkentäkerroin L_{2D}
- rakenteen läpäisevä lämpövirta, jonka aiheuttaa rakenteen eri puolilla oleva lämpötilaero (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 6)
- Viivamainen kylmäsilta kylmäsilta, jonka poikkileikkaus on rakenteen pinnan suuntaan jatkuvana samanlainen (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 6)
- Viivamainen lisäkonduktanssi Ψ (W/(mK))
- rakennusosan viivamaisen kylmäsilan aiheuttama lisäys jatkuvuustilassa rakennusosan läpi kulkevaan lämpövirtaan yhden asteen lämpötilaerolla (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 6)

1 JOHDANTO

Liitokset ovat rakennuksen heikoin kohta lämmöneristävyyden kannalta. Liitosten kylmäsillat aiheuttavat lämpövuotoa ja sitä kautta kuluja. Ne voivat myös aiheuttaa kosteusvaurioita, jos rakenne kylmenee esim. höyrynsulkumuoviin asti. Tällöin lämpimän sisäilman kosteus tiivistyy muovin pintaan ja kastelee rakenteen. Näiden vuoksi liitosten tutkiminen ja kehittäminen on tärkeää. Ympäristöministeriö on julkaissut 16.3.2012 luonnoksen Suomen rakennusmääräyskoelman osasta C4. Siinä määrätään selvittämään liitosten viivamaiset lisäkonduktanssit. Luonnoksen voimaantulopäivää ei ole vielä ilmoitettu.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Sievitalo Oy:n liitosdetaljeja. Opinnäytetyössä halutaan selvittää liitosten lämpökäyttäytymistä. Työssä kiinnitetään huomiota erityisesti kylmäsiltoihin ja niiden lämmönjohtavuuteen niin, että liitoksia voitaisiin myöhemmin parantaa esim. katkaisemalla kylmäsiltoja tai muuttamalla liitosten rakennetta.

Työ tehdään mallintamalla liitokset Comsol Multiphysics 5.2 -ohjelmalla. Sen jälkeen lasketaan liitosten viivamaiset lisäkonduktanssit. Viivamaiset lisäkonduktanssit lasketaan Ympäristöministeriön julkaiseman Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaoppaan mukaan. Liitosten lämpövuotoa ja laskettuja arvoja verrataan ympäristöministeriön ohjeellisiin arvoihin.

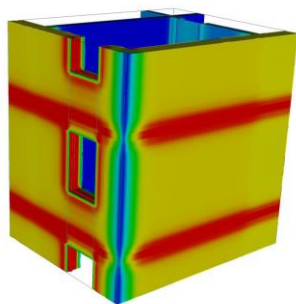
Sievitalo Oy on muuttovalmiiden omakotitalojen, vapaa-ajan asuntojen ja täydenpalvelun asunto-osakeyhtiöiden rakentaja. Kaikki rakennukset tehdään pääosin puurakenteisina ja paikallaan rakentaen. Sievitalo Oy rakentaa noin 200 asuntoa vuodessa ja on näin ollen merkittävä rakennusalan toimija Suomessa.

2 LÄMMÖN SIIRTYMINEN JA KYLMÄSILLAT

Lämpö voi siirtyä johtumalla, säteilemällä tai konvektiona. Tässä työssä keskitytään johtumalla siirtyvään lämpöön. Johtumisessa lämpö pyrkii tasoittumaan eli lämpöä siirtyy lämpimämmästä kylmempään päin. Johtumista tapahtuu, kun molekyylien liike-energia siirtyy toisiin molekyyleihin. Lämpimämpi molekyyli värhtelee enemmän kuin kylmempi ja värähtely siirtyy kylmempään, jolloin se lämpenee. Vastaavasti lämpimämpi jäähtyy, kun se menettää liike-energiaansa kylmemmälle. (Lämpö. 2004, 12.)

Kylmäsilillä tarkoitetaan rakennusosassa olevaa rakenneosaa, joka on tehty viereisiin aineisiin verrattuna hyvin lämpöä johtavasta aineesta (Lämmöneristys. 2012, 4.). Liitoksiin syntyy aina kylmäsiltoja liitosrakenteiden ja kantavien rakenteiden takia, sillä runkorakenteet johtavat lämpöä paremmin kuin eristeet. Tästä seuraa lämpötilaeroja liitoksen ja muun rakennusosan välille, mikä voi aiheuttaa lämpöolojen paikallista heikkenemistä, pinnan likaantumista ja kosteuden tiivistymistä rakenteeseen. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 5.)

Voimassa olevien määräysten (C4) mukaan rakenteiden U-arvoon ei oteta huomioon muuta kuin säännölliset kylmäsilat. Esimerkiksi seinien U-arvoa laskettaessa huomioidaan tuki- ja runkorakenteet, jotka jatkuvat samanlaisina koko seinän matkalla, mutta ei ala- ja yläohjauspuita. Rakenteet parantuvat ja lämpöhäviöt pienentyvät keskeltä rakennetta, joten viivamaisten kylmäsiltojen merkitys kokonaislämpöhäviöihin nähden kasvaa. (Kuva 1.) Viivamaisia kylmäsiltoja ovat nurkat, ikkuna-, ovi-, ylä-, ala- ja välipohjien liitokset. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 5.)



KUVA 1. 3D-mallinnus kylmäsilloista ((AnTherm) (Thermal Heat Bridges). 2015)

3 VIIMAISET LISÄKONDUKTANSSIT

Viivamainen lisäkonduktanssi kertoo, kuinka paljon viivamainen kylmäsilta lisää rakennusosan läpi kulkevaa lämpövirtaa kylmäsilan pituusmetriä kohti yhden asteen lämpötila erolla (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 6).

Viivamaiset lisäkonduktanssit voidaan määrittää laskemalla tai käyttämällä Suomen rakennusmääräyskokoelmassa D5 annettuja ohjetaulukkoja. Laskemalla saadaan tarkempi ja yksilöllinen arvo liitoksen lisäkonduktanssille. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 11.) Tässä opinnäytetyössä halutaan ratkaista mahdollisimman tarkasti yksittäisen liitoksen lisäkonduktanssi, joten käytetään numeerista menetelmää.

Laskenta aloitetaan määrittämällä koko rakenteen läpi kulkeva lämpövirta (L_{2D}) numeerisesti. Laskennan voi tehdä siihen sopivalla mallinnus-/ laskentaohjelmalla. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 13.) Tässä työssä lämpötekniinen kytkentäkerroin L_{2D} määritetään Comsol Multiphysics 5.2 -ohjelmalla. Lämpövirta lasketaan sisältä ulos yhden asteen lämpötila erolla metriä kohti (W/mK). Liitoksen laskettavaan rakenteeseen otetaan vähintään metri liitetyistä rakenteista tai kolme kertaa liitoksen paksuus (l_j) ja nurkassa olevat rakenteet pyritään ottamaan mahdollisimman tarkasti huomioon. Lasketaan rakennusosien lämmönläpäisykertoimet (U_j). Lämmönläpäisykertoimet kerrotaan rakennusosien pituudella ja saadaan niiden läpi menevä lämpövirta. Kokonaislämpövirrasta (L_{2D}) vähennetään rakennusosien lämpövirta ($U_j l_j$) ja näin saadaan liitoksen läpi menevä lämpövirta eli viivamainen lisäkonduktanssi (Ψ). (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 29.)

Kaavassa 1 on esitetty, miten lasketaan viivamainen lisäkonduktanssi (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 13).

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j l_j \quad \text{KAAVA 1}$$

L_{2D} = kaksiulotteisella (2D) laskennalla numeerisesti määritetty lämpötekniinen kytkentäkerroin koko tarkasteltavalle liitokselle (W/(mK))

U_j = liittyvän rakenne osan j lämmönläpäisykerroin ($W/(m^2K)$)

l_j = mallissa kuvatun rakenneosan pituus (m), jolla läpäisykerrointa U_j voidaan soveltaa

Seinän ja alapohjaliitoksen laskenta poikkeaa tästä, koska rakennusta ympäröivä pohjamaa on otettava huomioon riittävältä etäisyydeltä tarkasteltavista rakenteista. Liitoksen rakennusosien mittojen laskentaan tarvittava karakteristinen leveys B' (m) lasketaan kaavalla 2. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 15.)

$$B' = A / (0,5 \times P)$$

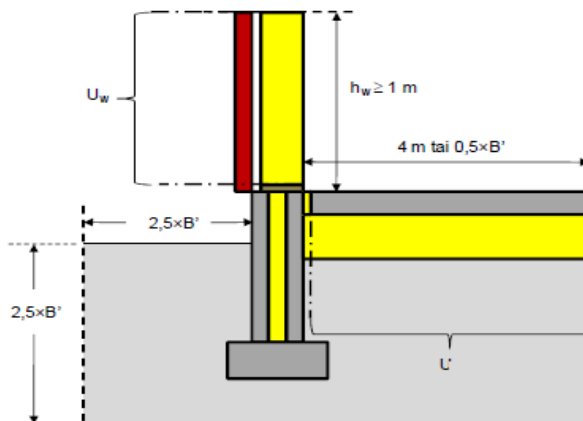
KAAVA 2

B' = alapohjan karakteristinen mitta (m)

A = rakennuksen pohjan ala (m^2)

P = rakennuksen ulkoseinien muodostaman piirin kokonaispituus (m)

Kuvassa 2 on esitetty, kuinka karakteristista leveyttä käytetään rakennusosien mittojen määrittämiseen



KUVA 2. Alapohjaliitoksen kylmäsilan laskentaan tarvittavat mitat (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 16)

Alapohjan viivamainen lisäkonduktanssi lasketaan kaavalla 3. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 16.)

$$\Psi = L_{2D} - h_w U_w - 0,5 * B' U$$

KAAVA 3

L_{2D} = koko rakenteen lämpövirta (W/(mK))

U_w = liittymän ulkoseinärakenteen lämmönläpäisykerroin (W/(m²K))

h_w = ulkoseinärakenteen korkeus käytetyssä mallissa (m)

U = alapohjarakenteen lämmönläpäisykerroin (W/(m²K))

B' = alapohjan karakteristinen mitta (m)

4 LÄMMÖNLÄPÄISYKERTOIMET

Lämmönläpäisykerroin (U) ilmoittaa rakennusosan läpi kulkevan lämpövirran tiheyden, kun rakenteen eri puolilla olevien lämpötilojen ero on yksi aste. Lämmönläpäisykertoimet lasketaan kaavalla 4. (Lämmöneristys. 2012, 6.)

$$U = 1/R_t \quad \text{KAAVA 4}$$

U = lämmönläpäisykerroin ($W/(m^2K)$)

R_T = rakennusosan kokonaislämmönvastus ($(m^2K)/W$)

Kokonaislämmönvastus tulee usein monen ainekerroksen lämmönvastusten summana. Rakenteiden ainekerrosten lämmönjohtavuus [λ] ja vahvuus [d] voivat vaihdella rakenteessa. Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus lasketaan sen vahvuuden ja lämmönjohtavuuden suunnitteluarvon avulla kaavalla 5. (Lämmöneristys. 2012, 6.)

$$R = d/\lambda_u \quad \text{KAAVA 5}$$

R = ainekerroksen lämmönvastus ($(m^2K)/W$)

d = ainekerroksen vahvuus (m)

λ_u = ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ($W/(mK)$)

Rakennusosan lämmönjohtavuudeltaan erilaiset ainekerrokset voivat olla lämpövirran suuntaan nähden peräkkäin tai rinnan. Rakennusosan, joka muodostuu lämpövirtaan nähden peräkkäisistä ainekerroksista, kokonaislämmönvastus lasketaan kaavalla 6. (Lämmöneristys. 2012, 7.)

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad \text{KAAVA 6}$$

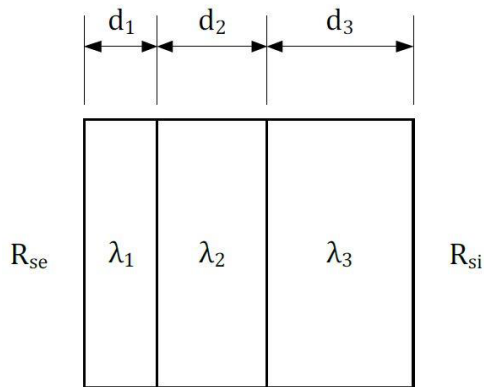
R_T = rakennusosan kokonaislämmönvastus ($(m^2K)/W$)

R_{si} = sisäpuolen pintavastus (m^2K/W)

R_1, R_2, \dots, R_n = ainekerrosten 1, 2, ..., n lämmönvastukset ($(m^2K)/W$)

R_{se} = ulkopuolen pintavastus ($(m^2K)/W$)

Peräkkäisiä ainekerroksia sisältävän rakennus osan kokonaislämmönvastus saadaan laskemalla ensin yksittäiset lämmönjohtavuudet ainekerroksille kaavalla 5. Lämmönjohtavuudet lasketaan yhteen kaavalla 6. (Kuva 3.) (Lämmöneristys. 2012, 7.)



KUVA 3. Peräkkäiset ainekerrokset lämpövirran suuntaan nähden (Lämmöneristys. 2012, 9)

Lämpövirran suuntaan rinnakkaisten ainekerrosten laskennassa otetaan huomioon materiaalien laskentasuunnan pinta-alan osuus rakennusosan pinta-alasta kaavalla 7. (Lämmöneristys. 2012, 8.)

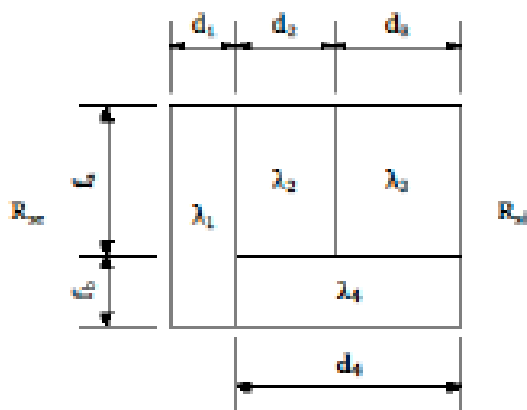
$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{ja}} + \frac{f_b}{R_{jb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{jn}} \quad \text{KAAVA 7}$$

R_j = rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n yhteenlaskettu lämmönvastus

f_a, f_b, \dots, f_n = yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n osuudet rakennusosan lämpövirran suuntaan kohtisuorasta pinta-alasta

$R_{ja}, R_{jb}, \dots, R_{jn}$ = rakennusosan kerroksessa j yhdistettävien rinnakkaisten lohkojen a, b, ..., n lämmönvastukset

Kuvassa 4 on esimerkki rakenteesta, jossa on lämpövirran suuntaan rinnakkaisia ainekerroksia.



KUVA 4. Lämpövirran suuntaan rinnakkaisia ainekerroksia sisältävä raken-
nusosa (Lämmöneristys. 2012, 9)

4.1 Pintavastusten määrittäminen

Lämmönläpäisykertoimen laskemiseen tarvitaan rakenteen pintavastukset R_{si} ja R_{se} . Sisä- ja ulkoilmaan rajoittuvissa rakennusosissa käytetään pintavastuksina taulukon 1 arvoja.

TAULUKKO 1. Rakenneosan sisä- ja ulkopuolen pintavastukset R_{si} ja R_{se} (Läm-
möneristys. 2012, 22)

Pintavastus $m^2 K/W$	Lämpövirran suunta		
	Ylöspäin	Vaakasuoraan	Alaspäin
sisäpuolen pintavastus (R_{si})	0,10	0,13	0,17
ulkopuolen pintavastus (R_{se})	0,04	0,04	0,04

Jos rakennusosassa on hyvin tuulettuvailmakerros, ilmakerroksen ja sen ulko-
puolella olevien ainekerroksien lämmönvastuksia ei oteta huomioon U-arvoa
laskettaessa. Tällöin ulkopinnan pintavastuksena voidaan käyttää sisäpinnan
pintavastusta. (Lämmöneristys. 2012, 24.)

4.2 Maanvastaisen alapohjarakenteen U-arvo

Hyvin lämmöneristetyin maavastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin lasketaan kaavalla 8 (Lämmöneristys. 2012, 28).

$$U_f = \frac{\lambda_s}{0,457B' + d_t} + \frac{2\Psi_{ge}}{B'} \quad \text{KAAVA 8}$$

U_f = maanvastaisen alapohjan lämmönläpäisykerroin (W/(m²K))

λ_s = maan lämmönjohtavuus (W/(mK))

B' = karakteristinen lattiamitta, kaava 2 (m)

d_t = maanvastaisen alapohjarakenteen ekvivalentti paksuus, kaava 9 (m)

Ψ_{ge} = lattiarakenteen reuna-alueilla olevan lisälämmöneristeen tai perusmuurin pystysuuntaisen lisälämmöneristykseen huomioon otettava viivamainen lisäkonduktanssi

Kaavassa 8 käytetty alapohjan ekvivalentti paksuus lasketaan kaavalla 9 (Lämmöneristys. 2012, 27).

$$d_t = w + \lambda_s (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad \text{KAAVA 9}$$

w = maanvastaisen seinärakenteen paksuus liittymässä (m)

λ_s = maaperän lämmönjohtavuus (W/(mK))

R_{si} = rakenteen sisäpuolen pintavastus (m²K/W)

R_f = alapohjan lämmönvastus, lasketaan kaavalla 6 (m²K/W)

R_{se} = ulkopuolisenmaan pintavastus (m²K/W)

Perusmuurin pystysuuntaisen lämmöneristykseen huomioon otettava viivamainen lisäkonduktanssi lasketaan kaavalla 10 (Lämmöneristys. 2012, 29).

$$\Psi_{gev} = -\frac{\lambda_s}{\pi} \left[\ln \left(\frac{2D_v}{d_t} + 1 \right) - \ln \left(\frac{2D_v}{d_t d'_v} + 1 \right) \right] \quad \text{KAAVA 10}$$

Ψ_{geV} = lattiarakenteen reunalla olevan perusmuurin pystysuuntaisen lisälämmöneristeen huomioon ottava viivamainen lisäkonduktanssi (W/(mK))

λ_s = maan lämmönjohtavuus (W/(mK))9

d_f = maanvastaisen alapohjan ekvivalentti paksuus, kaava 9 (m)

D_v = lattiarakenteen reuna-alueella olevan perusmuurin pystysuuntaisen lisälämmöneristeen korkeus maanpinnan alapuolella (m)

d'_v = lattiarakenteen reuna-alueella olevan pystysuuntaisen lisälämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus, kaava 11

Kaavassa 10 käytettävä ekvivalentti lisäpaksuus (d'_v) lasketaan kaavalla 11 (Lämmöneristys. 2012, 30).

$$d'_v = \lambda_s \left(R_{nv} - \frac{d_{nv}}{\lambda_s} \right) \quad \text{KAAVA 11}$$

d'_v = lattiarakenteen reunalla olevan pystysuuntaisen lisälämmöneristeen ekvivalentti lisäpaksuus (m)

λ_s = maan lämmönjohtavuus (W/(mK))

R_{nv} = perusmuurin lämmönvastus, joka lasketaan kaavalla 6 tai 7 (m²K/W)

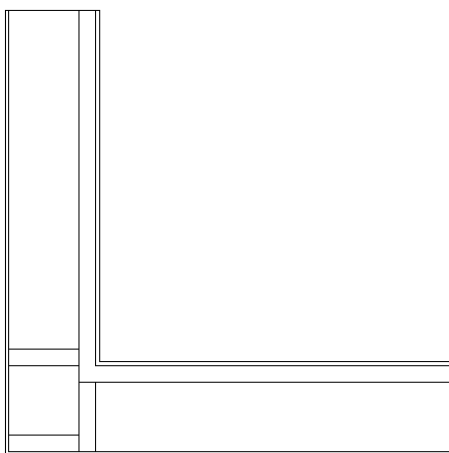
d_{nv} = perusmuurin paksuus (m)

5 VIIVAMASTEN LISÄKONDUKTANSSIEN MÄÄRITYS

Opinnäytetyössä tarkasteltiin Sievitalo Oy:n taloissa käyttämien liitosten viivamaisia kylmäsiltoja ja niistä aiheutuvia viivamaisia lisäkonduktansseja. Tarkastelu tehtiin 16.3.2016 julkaistun Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C4 luonnoksen ja sen pohjalta tehdyn Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas -ohjeen mukaan. Työssä käytettiin apuna monia ohjelmia viivamaisen lisäkonduktanssin määrittämiseksi. Opinnäytetyössä käsiteltiin ainoastaan viivamaisia lisäkonduktansseja (jatkossa viivamaisia lisäkonduktansseista käytetään termiä lisäkonduktanssi).

5.1 Mallintamisen kulku

Ensin mallinnettavasta liitoksesta luotiin AutoCad-ohjelmalla mahdollisimman tarkka kuva, käyttäen vain viivoja. Kuvasta jätettiin pois kaikki täytteet, mitat ja tekstit. Liitoksessa olevat rakenteet piirrettiin kuvaan niin kuin ne detaljissa ovat, mutta liitokseen osallistumattomat rakenteet jätettiin piirtämättä. Piirtämättä jätetyt rakenneosat kuitenkin huomioitiin kyseisen rakenteen lämmönjohtavuudessa. (Kuva 5.)



KUVA 5. Nurkkaliitoksessa käytetty malli

Malli siirrettiin Comsol Multiphysics 5.2 -ohjelmaan, jossa mallin rakennusosille annettiin valmistajien ilmoittamat lämmönjohtavuudet. Puun lämmönjohtavuutena käytettiin 0,12 W/mK. Kaikki liitokset ratkaistiin stationäärisessä eli ajasta

riippumattomassa tilassa. Mallin sisä- ja ulkopinnoille annettiin pintavastukset ja lämpötilat. Lämpötiloina käytettiin sisäpinnassa yhtä astetta ja ulkopinnassa nol-
laa. Rakenteen katkaistuissa päissä pitää olla adiabaattinen reuna. Näillä tie-
doilla ohjelmasta saatiin lämpötekkinen kytkentäkerroin L_{2D} . Adiabaattireuna-
ehto tarkoittaa rajapinnan ulkopuolella olevaa täydellistä lämmöneristystä. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 12.)

Liittyvistä rakenteista laskettiin lämmönläpäisykerroin U käyttäen apuna Excel-
ja MathCad 15 -ohjelmia. Liittyvien rakenteiden lämmönläpäisykerroimen ja pi-
tuuden avulla saatiin selvitettyä lämpövirta, joka kulkee rakenteiden läpi. Saatu
lämpövirta vähennettiin L_{2D} -arvosta ja tuloksena saatiin lämpövirran määrä, joka
kulkee liitoskohdan läpi eli lisäkonduktanssi.

Rakennusosien pituudet määräytyvät seuraavasti: Rakennusosaa otetaan las-
kentaan mukaan vähintään d_{min} etäisyydeltä liitoksesta tai kylmäsillasta. d_{min} on
vähintään 1 m tai kolme kertaa liitokseen liittyvän rakenneosan paksuus. Ala-
pohjaliitoksessa rakennusta ympäröivä pohjamaa on otettava huomioon riittä-
vältä etäisyydeltä tarkasteltavista rakenteista. (Kuva 2, sivulla 10.) (Viivamaisten
lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 13.)

Liitosdetaljit ja tulokset ovat Sievitalo Oy:n omaisuutta ja niitä ei julkaista kilpai-
lullisista syistä.

5.2 Ulkoseinäliitoksen lisäkonduktanssi

5.3 Yläpohjaliitoksen lisäkonduktanssi

5.4 Välipohjaliitoksen lisäkonduktanssi

5.5 Alapohjaliitoksen lisäkonduktanssi

5.5.1 Lämmönläpäisykertoimen määrittäminen alapohjalle

5.5.2 Alapohjan viivamaisen lisäkonduktanssin määrittäminen

5.6 Ikkunaliitoksen lisäkonduktanssi

5.7 Viivamaisten lisäkonduktanssien taulukkoarvot

Suomen rakennusmääräyskokoelman osassa D5 on esitetty ohjearvoja liitosten viivamaisille lisäkonduktansseille. Arvot on annettu taulukkomuodossa, jossa on esitelty erilaisista runkomateriaaleista koostuvien rakennusosien liitosten viivamaiset lisäkonduktanssit. Taulukoiden arvoja voidaan käyttää, kun suunnittelu-arvoja ei ole käytettävissä. (Taulukot 8 ja 9.) (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012, 16.)

TAULUKKO 8. Ohjearvoja viivamaiselle lisäkonduktanssille eri runkomateriaaleilla toteutetuille liitoksille, koskee ulkoseinän liitoksia ylä-, ala- ja välipohjaan (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012, 17)

Ulkoseinä- materiaali	Lisäkonduktanssi Ψ_k , W/(m K)									
	Yläpohjan (ulkonurkka) runkomateriaali			Välipohjan runkomateri- aali			Alapohjan runkomateriaali			
	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni	kevyt- betoni	puu	betoni, maan- vast.	betoni, ryöm. tila	kevyt- betoni, ryöm. tila	puu, ryöm. tila
betoni	0,08		0,04	0,00			0,24	0,28		
kevytbetoni	0,18	0,06	0,04	0,10	0,00		0,09	0,08	0,03	
kevytsorabetoni	0,13		0,04	0,07			0,15	0,11		
tiili	0,08		0,04	0,00			0,17	0,06		
puu			0,05			0,05	0,10			0,06
hirsi			0,04			0,00	0,11			0,09

TAULUKKO 9. Ohjearvoja viivamaiselle lisäkonduktanssille ulkoseinien nurkka-liitoksissa ja ikkuna- ja oviliitoksissa eri runkomateriaaleilla (Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2012, 17)

Liitos	Lisäkonduktanssi Ψ_{ks} W/(m K)					
	Ulkoseinän runkomateriaali					
	betoni	kevyt- betoni	kevyt- sora- betoni	tiili	puu	hirsi
ulkoseinien välinen liitos, ulkonurkka	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05
ulkoseinien välinen liitos, sisänurkka	-0,06	-0,05	-0,05	-0,05	-0,04	-0,05
ikkuna- ja oviliitos, lämmöneristeen kohdalla ^{*)}	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
ikkuna- ja oviliitos muussa tapauksessa	0,15	0,07	0,10	0,10	0,07	0,07

^{*)} Karmi peittää vähintään 40 % lämmöneristeen kokonaispaksuudesta.

6 LIITOSTEN LÄMPÖTILAEROT JA LÄMPÖVIR RAT

Sievitalo Oy:n käyttämien liitosten lämpötilaeroista ja lämpövirroista tehtiin kuvat, joita voidaan myöhemmin käyttää liitosten kehittämiseen. Kuvat mallinnettiin Comsol multiphysics 5.2 -ohjelmalla 30 °C:n lämpötilaerolla. Rakennusosien sisäpintaan laitettiin ohjelmassa lämpötilaksi 20 °C ja ulkopintaan -10 °C.

Opinnäytetyössä laadittuihin lämpötilajakaumakuviin (lukuissa 6.1 – 6.5) on merkitty sinisellä 8 ja 10 °C:n välinen alue. 8 ja 10 °C:n välillä ilmankosteus nousee 100 %:iin, jos sisällä on 20 °C lämmintä ja ilmankosteus 50 %. Ilma voi sitoa kosteutta 17,28 g/m³, kun lämpötila on 20 °C. 9 °C:n lämpötilassa ilman vesihöyryn kyllästymispiste on 8,87 g/m³. Sisäilman kosteuden ollessa 50 %:a, ilmassa on 8,64 g/m³ vettä. Sinisellä alueella on vesihöyryn tiivistymisriski, jos alue ulottuu höyrynsulun sisäpuolelle. Kosteus kondensoituu eli tiivistyy helpoiten tiiviille pinnalle tai märän materiaalin pinnalle. Vesihöyryn todennäköisin tiivistymispaikka on höyrynsulun pintaan sisäpuolelle. (Kosteus. 2004, 11, 40.)

Lämpövirtakuvissa (lukuissa 6.1 – 6.5) suurempi lämpötilaero tuo paremmin esille lämpövirran, koska sitä on enemmän. Lämpövirta on kuvattu erikokoisilla nuolilla. Mitä isompia nuolet ovat, sitä isompi on lämpövirta. Kuvista erottuivat selkeästi kylmäsilat, joita pitkin kulkee eniten lämpöä. Näitä kylmäsiltoja katkaisemalla tai rakenneosien erilaisella sijoittelulla voidaan pienentää liitosten lisäkonduktansseja.

6.1 Ulkoseinäliitoksen lämpötilat ja -virta

6.2 Yläpohjaliitoksen lämpötilat ja -virta

6.3 Välipohjaliitoksen lämpötilat ja -virta

6.4 Alapohjaliitoksen lämpötilat ja -virta

6.5 Ikkunaliitoksen lämpötilat ja -virta

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tarkoituksena oli tutkia rakennusosien liitosten lämpöominaisuuksia Sievitalo Oy:lle. Liitoksia tarkasteltiin niiden aiheuttaman kylmäsilan eli viivamaisen lisäkonduktanssin avulla. Liitoksien tutkimiseen päädyttiin, koska tulevaisuudessa Suomen rakennusmääräyskokoelman osan C4 luonnoksen tullessa voimaan liitoksista täytyy selvittää niiden viivamainen lisäkonduktanssi. Luonnoksen voimaan tulo päivää ei ole julkistettu. Ideana oli selvittää, täyttävätkö liitokset tulevat määräykset, ja saada materiaalia liitosten kehittämiseen.

Liitoksien viivamaisia lisäkonduktansseja varten selvitettiin rakennusosien lämmönjohtavuudet, joita käytettiin lämpösimuloinnissa. Lämmönjohtavuudet määritettiin mahdollisimman tarkasti, jotta saatiin myös tarkka lopputulos. Lisäkonduktanssit ratkaistiin numeerisella menetelmällä. Tätä varten tarvittiin simulointiohjelma, jolla voitiin määrittää lämpötekkinen kytkentäkerroin L_{2D} . Tästä luvusta voitiin ratkaista viivamaiset lisäkonduktanssit vähentämällä siitä liittyvien rakennusosien U-arvot kerrottuna mukaan otetulla pituudella. Työ pyrittiin tekemään C4-luonnoksen ja Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaoppaan mukaan, koska niiden avulla liitokset joudutaan tulevaisuudessa tutkimaan. Näin luvuista saatiin myös vertailukelpoisia ympäristöministeriön antamien ohjearvojen kanssa.

Simuloinnit malleille tehtiin stationäärisessä tilassa, joka ei ota huomioon aikaa. Myöskään ilmastoa ja lämpöolosuhteita ei laskennassa otettu huomioon. Tulokset ovat teoreettisia laskenta-arvoja, jota ei voi suoraan käyttää esim. rakennuksen lämmitysenergian tarpeen määrittämiseen.

Liitoksista luotiin myös kuvat, joissa näkyvät liitoksen lämpövirran kulku ja lämpötilajakauma liitoksessa 30 °C:n lämpötilaerolla. Lämpövirtakuvia voidaan myöhemmin käyttää liitosten kehittämiseen ja lämpötilajakaumakuvista voidaan päätellä, onko liitoksessa kosteusriskiä lämpötiloista johtuen. Päätelyn voi tehdä laskemalla, missä lämpötilassa muodostuu kastepiste ja mihin kohtaa liitosta se tulee. Työssä ei muuten kuin lämpötilojen kautta otettu kantaa rakenteiden kosteuskäyttäytymiseen.

Liitosten lämpökäyttäytymisen lisäksi olisi hyvä tutkia kosteusteknisiä seikkoja tarkemmin ja simuloinnin voisi tehdä dynaamisena. Dynaamisessa simuloinnissa otetaan huomioon rakennuksen ilmasto, lämpöolosuhteet ja aika. Kosteuden tiivistymistä voisi tutkia esimerkiksi rakennekerrosten vesihöyrynvastusten kautta.

Työssä haastavaa oli opetella uuden ohjelman käyttäminen. Opin kuitenkin paljon lämmön siirtymisestä rakenteessa. Ohjelman avulla huomasin hyvin, kuinka paljon rakennusosien ja niiden liitosten suunnittelu vaikuttaa lämmön siirtymiseen. Uskon, että tämä työn avulla liitoksia voidaan kehittää paremmiksi ja niiden suunnittelussa osataan ottaa lämmön siirtyminen paremmin huomioon.

LÄHTEET

(AnTherm) (Thermal Heat Bridges). 2015. AnTherm. Saatavissa:

<http://www.antherm.at/antherm/EN/>. Hakupäivä 19.2.2016.

Kosteus. 2004. Rafnet-oppimateriaalin teoriaosan osio K. Rafnet-ryhmä. Saatavissa: http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/kosteus_27092004.pdf

Hakupäivä 5.5.2016.

Lämmöneristys. 2012. Ohjeet. Luonnos 16.3.2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/1931-C4s.pdf>.

Hakupäivä 3.5.2016.

Lämpö. 2004. Rafnet-oppimateriaalin teoriaosan osio L. Rafnet-ryhmä. Saatavissa: <http://www.tekniikka.oamk.fi/~kimmoi/talrakjatko/lampoosio27092004.pdf>

Hakupäivä 3.5.2016.

Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. 2013. Ohjeet 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. Saatavissa:

<http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468> Hakupäivä 5.5.2016.

Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012. Ympäristöministeriö. Saatavissa: <http://www.ym.fi/download/noname/%7B0708E7A2-7EE5-4DA5-AEF2-2801630E2300%7D/30996>

Hakupäivä 3.5.2016.